

## ZASADY WYBORU GATUNKÓW WSKAŹNIKOWYCH W OCENIE RYZYKA WPLYWU ROŚLIN ZMODYFIKOWANYCH GENETYCZNIE NA ŚRODOWISKO

ZBIGNIEW T. DĄBROWSKI, MARCIN GRABOWSKI

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie  
Katedra Entomologii Stosowanej  
Nowoursynowska 159, 02-787 Warszawa  
zbigniew\_dabrowski@sggw.pl

### I. WSTĘP

Od 1999 r. obserwuje się stały wzrost areалу upraw odmian zmodyfikowanych genetycznie (ang. genetically modified – GM), który w 2010 r. osiągnął powierzchnię 148 mln ha. Był to 87-krotny wzrost w stosunku do 1999 r. W Stanach Zjednoczonych odmiany GM zajęły powierzchnię 66,8 mln ha; w Brazylii – 25,4 mln; w Argentynie – 22,9 mln; w Indiach – 9,4 mln; w Kanadzie – 8,8 mln; w Chinach – 3,5 mln; w Paragwaju – 2,6 mln i w Afryce Południowej – 2,2 mln ha. W 19 innych krajach również zwiększono areal upraw odmian GM. W 2010 r. tylko 6 z 27 krajów Unii Europejskiej uprawiało kukurydzę z cechą MON 810, jednak w żadnym z tych krajów nie uprawiano odmian GM na większą skalę. W niektórych regionach Hiszpanii dwa szkodniki: omacnica proso-wianka – *Pyrausta nubilalis* (Hbn) i inny gatunek drążący źdźbła i atakujący kolby – *Sesamia nonagrioides* (Lef.) powodowały znaczne straty ekonomiczne, uprawiano tam kukurydzę z ekspresją toksycznego białka Cry 1 Ab na powierzchni ponad 50 tys. ha, co wyniosło 22% akceptacji przez rolników (James 2010).

Korzyści, jak i zagrożenia wynikające z uprawy odmian genetycznie zmodyfikowanych zwróciły uwagę szerszego grona naukowców, wykraczającego poza zaprzysięgłych zwolenników, jak i emocjonalnych oponentów, na konieczność przeprowadzenia analizy ryzyka tylko w oparciu o solidną wiedzę naukową. Na konieczność takiego podejścia zwrócili uwagę eksperci krajów członkowskich Unii Europejskiej desygnowani do Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności i europejscy przedstawiciele organizacji związanych z ochroną przyrody (Breckling i Verhoeven 2004; Hilbeck i wsp. 2008; Dolezel i wsp. 2009; Dąbrowski 2010; European Commission 2011).

### II. WYBÓR GATUNKÓW I PROCESÓW EKOLOGICZNYCH DLA OCENY RYZYKA UWOLNIENIA ROŚLIN GM DO ŚRODOWISKA

Zgodnie z zaleceniami zawartymi w Dyrektywie 2001/18/EC, ocena zagrożenia wprowadzenia organizmów zmodyfikowanych genetycznie do środowiska powinna

uwzględniać wszystkie potencjalne oddziaływania bezpośrednie i/lub opóźnione w wyniku bezpośrednich i pośrednich powiązań roślin GM z organizmami niedocelowymi (European Council 2001). Ocena ryzyka powinna więc obejmować oddziaływania roślin GM na różnorodność biologiczną agrocenoz i środowisk naturalnych. W praktyce sprowadza się to do analizy bogactwa gatunków i procesów ekologicznych zachodzących w agrocenozach.

W każdym ekosystemie występują liczne gatunki niedocelowe, które mogą być wystawione na działania roślin GM. Schulte (2008) wskazuje, że w poszczególnych uprawach może występować okresowo lub stale pomiędzy 500–1000 gatunków stawonogów. Wiele z nich nie jest jeszcze dobrze poznanych. Pokrywa się to z opinią części ekologów, wyrażających swój niepokój wprowadzenia odmian GM do uprawy. Prof. dr Jan Szyszko, ówczesny Minister Środowiska witając uczestników Konferencji grupy roboczej „GMOs in integrated plant production” Międzynarodowej Organizacji Walki Biologicznej, jednoznacznie wyraził stanowisko Rządu Rzeczypospolitej Polskiej w sprawie upraw roślin GM, podkreślając unikalność polskiej flory i fauny, bogatszej, niezredukowanej jeszcze jak w innych krajach Europy. Podkreślił, że jako ekolog jest głęboko przekonany, że oddziaływania upraw GM na skomplikowane układy troficzne są trudne do przewidzenia i wymagają wieloletnich badań (Dąbrowski 2007).

Dobrą ilustracją istnienia tych złożonych zależności jest wykaz powiązań troficznych głównych szkodników pszenicy opracowany przez wybitnych entomologów węgierskich (Jermy i Szelényi 1958), a cytowany przez Tischlera (1971) w jego podręczniku „Agroekologia”.

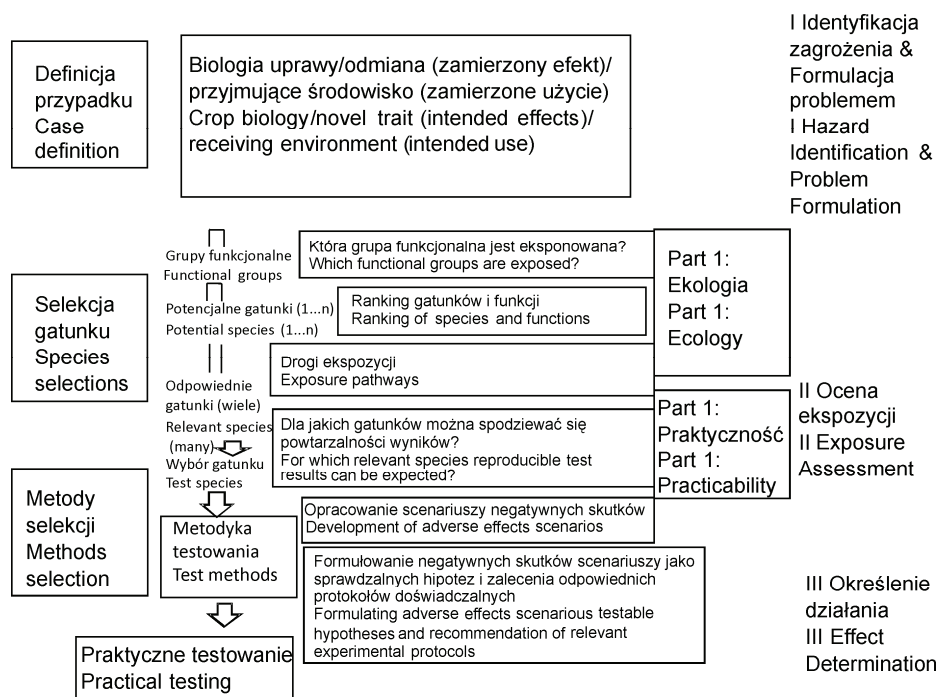
W praktyce określenie potencjalnego ryzyka uwolnienia roślin GM do środowiska odbywa się poprzez porównanie uprawy danej zmodyfikowanej rośliny do jej wyjściowej niemodyfikowanej rośliny rodzicielskiej. Stwierdzone różnice we właściwościach rośliny GM uważa się za nowy czynnik stresowy, ponieważ oddziaływania na środowisko mogą wynikać ze zmian w roślinie GM, ale też być efektem wprowadzonego transgenu i jego produktów. Ocenę tych oddziaływań należy odnosić do: (a) gatunku i (b) procesów zachodzących w ekosystemie, które mogą podlegać negatywnym oddziaływaniom roślin GM, a należy je chronić i zachować.

W pierwszym etapie należy określić najważniejsze procesy związane z biologiczną różnorodnością występujące w uprawie określonej rośliny GM. Analiza tych procesów powinna przede wszystkim obejmować:

- znaczenie różnych grup agrofagów w łańcuchu pokarmowym w danej uprawie;
- oddziaływania wrogów naturalnych na agrofagi;
- aktywność zapylaczy;
- procesy rozkładu martwej substancji biologicznej oraz obiegu azotu i fosforu w danej uprawie.

Następnie wszystkie znane gatunki i procesy ekologiczne ważne w funkcjonowaniu różnorodności biologicznej należy poddać procesowi przejrzystej procedury w oparciu o syntetyczną analizę wielu cech (Hilbeck i wsp. 2008; EFSA 2010). Np. dla organizmów spełniających ważne funkcje dla utrzymania różnorodności biologicznej należy:

- zebrać dostępne informacje dotyczące składu gatunkowego fauny danego gatunku rośliny uprawnej;
- przeprowadzić analizę pod kątem znaczenia tych gatunków dla funkcjonowania ekosystemu;
- ustalić kolejność (priorytetów) gatunków zgodnie z ich rolą w środowisku (rys. 1).



Rys. 1. Procedura selekcyjna dla niedocelowych organizmów (Hilbeck i wsp. 2008)  
 Fig. 1. Selection procedure for non target organisms (Hilbeck *et al.* 2008)

Ważnymi cechami, które należy brać pod uwagę przy wyborze organizmów wskaźnikowych jest ich znaczenie ekonomiczne, duża wartość estetyczna czy kulturowa, jak np. motyle monarcha [*Danaus plexippus* (L.)] w Stanach Zjednoczonych i gatunki znajdujące się pod ochroną lub zagrożone wyginięciem.

Układając listę priorytetów w analizie ryzyka dla środowiska należy brać pod uwagę następujące powiązania organizmów niedocelowych i roślin GM:

- ekspozycję danego gatunku w warunkach polowych na cechę zmodyfikowaną genetycznie, uwzględniając wszystkie stadia rozwojowe narażone na oddziaływania tej cechy;
- ustalenie wrażliwości danego gatunku i jego stadiów rozwojowych na produkty zmodyfikowanej cechy;
- powiązania danego gatunku z gatunkiem docelowym w układach troficznych danej uprawy;
- liczebność danego gatunku w agrocenozie;
- podatność gatunku na dotychczasowe czynniki stresowe w środowisku (np. pewne zanikające populacje, które dodatkowo mogą ucierpieć pod wpływem dodatkowego czynnika stresowego);
- powiązania danego gatunku z otaczającym środowiskiem, włączając naturalne i semi-naturalne habitaty.

Według najnowszych opracowań ekspertów Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA 2010) wykaz gatunków stawonogów występujących w agroceozach, a narażonych bezpośrednio na oddziaływania roślin GM lub poprzez układy troficzne, które należy poddać wyżej wymienionej analizie jest następujący:

- Gatunki roślinożerne (fitofagi) pobierające pokarm z wiązek sitowo-naczyniowych (floemu): mszyce (Hemiptera: Aphididae), skoczki (Hemiptera: Cicadellidae), niektóre Heteroptera.
- Fitofagi pobierające pokarm z komórek roślinnych: wciornastki (Thysanoptera: Thripidae), przędziorki (Acarina) i nicienie (Tylenchida: Meloidogynidae). Z gatunków odżywiających się częściami roślin należy w analizach uwzględnić: chrząszcze naliściowe (Coleoptera: Chrysomelidae), gąsienice motyli (Lepidoptera), larwy muchówek (Diptera), szarańczaki długorogie (Orthoptera, Ensifera), ślimaki (Mollusca, Gastropoda).
- Z grupy wrogów naturalnych uwzględnić się zarówno gatunki drapieżne, jak i parazytoidy. Analiza powinna obejmować następujące grupy drapieżców: drapieżne chrząszcze (Coleoptera) (Coccinellidae, Carabidae, Staphilinidae), drapieżne pluskwiaki (Heteroptera: Nabidae, Anthocoridae), drapieżne gatunki muchówek (Diptera: Syrphidae), złotooki (Neuroptera: Chrysopidae, Hemerobida), wciornastki (Thysanoptera: Aelothrips), pająki (Araneae, Opiliones), roztocza (Acarina: Phytoseiidae) i nicienie (*Mononchus* sp.). Analizowane gatunki parazytoidów mieszczą się przede wszystkim w takich rodzinach błonkówek, jak: gąsienicznikowate (Ichneumonidae), męczelkowate (Braconidae) i mszycarzowate (Aphidiidae). Entomopatogeniczne organizmy obejmują takie rodziny nicieni, jak: Heterorhabditidae i Steinernematidae oraz patogeniczne mikroorganizmy.
- Dla oceny procesów zapylania roślin w uprawach GM należy uwzględnić następujące grupy zapylaczy: pszczoły samotne i społeczne (Hymenoptera: Apidae), bzygowate (Diptera: Syrphidae), chrząszcze (Melyridae, Curculionidae, Scarabaeidae).
- Nie można wykluczyć, że rośliny GM mogą oddziaływać na procesy rozkładu substancji organicznych w glebie i dlatego należy w analizach ryzyka uwzględnić detentów (obecnie częściej określanych jako detrytusofagi), tj.: larwy muchówek (Phoridae, Sciaridae), nicienie (Rhabditidae, Dorylaimidae), skoczogonki (Collembola), roztocza (Acarina), dżdżownice (Haplotaxida: Lumbricidae), stonogi z rzędu równonogów (Isopoda). Nie wymienia się gatunków mikroorganizmów biorących udział w rozkładzie biomasy, a wskazuje na analizę procesów zachodzących w środowisku glebowym. W ocenie oddziaływania odmian GM tolerujących herbicydy podkreśla się konieczność uwzględnienia symbiontów roślin.

### III. DOŚWIADCZENIA PIERWSZEGO PROGRAMU OCENY RYZYKA UWOLNIENIA KUKURYDZY MON 810 DO ŚRODOWISKA W POLSCE

Badania związane z oceną ryzyka oddziaływania genetycznie zmodyfikowanej kukurydzy MON 810 na organizmy niedocelowe podjęto w Katedrze Entomologii Stosowanej Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w 2003 r. (Dąbrowski i Górecka 2006). Planując zakres badań znajdowano się pod presją żądań wyrażanych przez wpływowe grupy pro-ekologiczne i pewnych naukowców, domagających się, aby w badaniach uwzględnić wszystkie potencjalne gatunki stawonogów, wchodzących w in-

terakcje z roślinami kukurydzy i paszą, wytwarzaną z ziarniaków roślin GM. W pierwszym etapie badań prowadzonych w szklarniach i laboratorium, uwzględniono oddziaływanie: (a) mąki kukurydzy MON 810 na gąsienice mkiłki mącznego (*Ephestia kühniella* Zell.) i jej parazytoidea błonkówkę (*Venturia canescens* Graven.); (b) pyłku na gąsienice bielinka rzepnika (*Pieris rapae* L.) jako przedstawiciela rzędu Lepidoptera (białko Cry 1 Ab w kukurydzy MON 810 działa na gąsienice omacnicy prosowianki i innych gatunków motyli drążących korytarze w źdźbłach); (c) kukurydzy GM na mszycę czeremchowo-zbożową (*Rhopalosiphum padi* L.) i jej drapieźców: biedronkę dwukropką (*Adalia bipunctata* L.) i złotooka pospolitego (*Chrysoperla carnea* Stephens), a także jej parazytoidea – mszycarza szklarniowego (*Aphidius colemani* Viereck); (d) przedziorka chmielowca (*Tetranychus urticae* Koch) i jego drapieźcę dobroczynka szklarniowego (*Phytoseiulus persimilis* A-H). Doświadczenia te pokazują, że stosowane techniki zbierania i przechowywania pyłku nie oddawały zależności pomiędzy opadaniem pyłku na rośliny kapustne w warunkach naturalnych. Zespół autorów zajmujących się od wielu lat oceną zagrożeń organizmów niedocelowych przez rośliny GM w swojej ostatniej publikacji, podkreśla trudności prowadzenia odpowiednich testów laboratoryjnych nad oddziaływaniem roślin GM na organizmy niedocelowe i konieczność zachowania ostrożności w wyciąganiu wniosków (Romeis i wsp. 2011).

Jednocześnie nasze badania potwierdziły, że określenie zawartości toksycznego białka Cry 1 Ab w testowanych roślinach kukurydzy jest niezbędne przy interpretacji wyników testów laboratoryjnych, jak i polowych. W momencie rozpoczęcia naszych badań, literatura jeszcze nie podkreślała znaczenia poziomu ekspozycji toksycznych białek w różnych organach roślin GM dla gatunków niedocelowych. Obecnie wiadomo, że wpływ warunków uprawy roślin kukurydzy wpływa na ekspresję toksycznego białka w poszczególnych tkankach rośliny (Ramirez-Romeo i wsp. 2008). Obecnie zalecana analiza ryzyka uwzględnia ilościowe dane o ekspresji produktów transgenów w różnych organach rośliny GM (rys. 1).

Uzyskane wyniki potwierdziły, że przedziorek chmielowiec, jako gatunek pobierający toksynę Cry 1 Ab z tkanek kukurydzy GM, może stanowić potencjalną drogę przekazywania tego białka niedocelowym drapieźcom i powinien być uwzględniany w badaniach nad ekologicznym ryzykiem uprawy roślin GM. Genetycznie zmodyfikowana kukurydza MON 810 nie ma negatywnego, pośredniego wpływu na biologię drapieźnego dobroczynka szklarniowego, odżywiającego się przedziorkami z roślin GM (Górecka i Dąbrowski 2009).

Nie wykazano istnienia ekologicznego zagrożenia uprawy odmian z cechą MON 810 na drapieźne stawonogi odżywiające się mszycą czeremchowo-zbożową. Ten gatunek fitofaga nie stanowi drogi ekspozycji na owadobójczą toksynę Cry 1 Ab dla niedocelowych entomofagów (Górecka i wsp. 2008; Górecka 2010).

#### **IV. PRIORYTETY W OCENIE ODDZIAŁYWANIA KUKURYDZY Z CECHĄ MON 810 NA ORGANIZMY NIEDOCELOWE W WARUNKACH POŁOWYCH**

W badaniach polowych rozpoczętych w 2008 r. w ramach programu koordynowanego przez Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin szczególną uwagę zwrócono na

oddziaływania roślin zmodyfikowanych genetycznie na wybrane gatunki chrząszczy biegaczowatych (Coleoptera: Carabidae), pełniących ważną rolę w agrocenozie kukurydzy (Twardowski i wsp. 2010). Dla wyboru gatunków wskaźnikowych dokonano analizy ich preferencji pokarmowych (Grabowski i wsp. 2010). Biorąc pod uwagę apel entomologów (Knecht i wsp. 2010) o potrzebie dokładniejszego poznania fauny agrofagów upraw roślin GM, określono skład gatunkowy i dynamikę populacji wciornastków (Thysanoptera) w uprawach kukurydzy w rejonie o potencjalnych możliwościach uprawy odmian kukurydzy z cechą odporności na omacnicę prosowiankę (Kucharczyk i wsp. 2011). Zarówno testy wykonane w laboratoriach zagranicznych, jak i w Polsce wykazały, że wciornastki aktywnie pobierają toksyczne białko Cry 1 Ab z roślin kukurydzy GM, a tym samym mogą ją przekazywać na wyższe poziomy troficzne.

## V. WNIOSKI

W oparciu o wyniki własnych doświadczeń, jak i prac opublikowanych w ostatnich latach z badań prowadzonych w Hiszpanii, Niemczech, Czechach i Szwajcarii można wyciągnąć wniosek, że w badaniach nad oddziaływaniem roślin GM na organizmy niedocelowe nie jest możliwe uwzględnienie wszystkich gatunków stawonogów występujących w łąnie roślin zmodyfikowanych genetycznie (koszty). Kryteria wyboru gatunków wskaźnikowych powinny uwzględniać następujące cechy: prawdopodobieństwo pobrania toksycznego białka z pokarmem roślinnym przez różne stadia rozwojowe danego gatunku stawonoga; specyficzne oddziaływanie toksycznych białek na różne grupy stawonogów; liczebność danego gatunku w uprawach kukurydzy (liczny – sporadycznie występujący); ekologiczne znaczenie danego gatunku dla funkcjonalnej bioróżnorodności i ochrona gatunków zagrożonych.

Praca częściowo finansowana w ramach projektu badawczego zamawianego  
Nr 5100504120032 PBZ/MNiSW – 06/1/2007.

## VI. LITERATURA

- Breckling B., Verhoeven R. (eds.) 2004. Risk Hazard Damage. Specification of Criteria to Assess Environmental Impact of Genetically Modified Organisms. Federal Agency for Nature Conservation, Bonn, 256 pp.
- Dąbrowski Z.T. 2007. Międzynarodowa konferencja na temat: Environmental Impact of Genetically Modified Organisms – Oddziaływanie genetycznie zmodyfikowanych organizmów na środowisko. Warszawa, 23–25 maja 2007 r. Post. Nauk Rol. 6: 107–111.
- Dąbrowski Z.T. 2010. Robocze zebranie ekspertów krajów członkowskich i EFSA dotyczące komentarzy do proponowanych zaleceń odnośnie analizy ryzyka roślin zmodyfikowanych genetycznie dla środowiska (GM). Berlin, 17.06.2010. Sprawozdanie dla Ministerstwa Środowiska, 4 ss.

- Dąbrowski Z.T., Górecka J. 2006. Metodyka oceny ryzyka uprawy odmian zmodyfikowanych genetycznie odpornych na szkodniki. *Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin* 46 (1): 180–188.
- Dolezel M., Miklau M., Eckerstorfer M., Hilbeck A., Heissenberger A., Gaugitsch H. 2009. Standardising the Environmental Risk Assessment of Genetically Modified Plants in the EU. Federal Agency for Nature Conservation, Bonn, 295 pp.
- European Commission 2011. Debate on GMO Risk Assessment and Management, 17.03.2011. Mimeograph, 120 pp.
- European Council 2001. Directive 2001/18/EC of the European Parliament and of the Council of 12 March 2001 on the deliberate release into the environment of genetically modified organisms and repealing Council Directive 90/220/EEC. *Official Journal of the European Communities L*. 106, 39 pp.
- European Food Safety Authority (EFSA) 2010. Guidance on the environmental risk assessment of genetically modified plants. *EFSA Journal* 2010, 8 (11), 111 pp.
- Górecka J. 2010. Ocena Niezamierzonych Efektów Uprawy Odmian Transgeniczných na Wybrane Niedocelowe Gatunki Stawonogów i na Systemy Trójtroficzne. SGGW, Warszawa, 170 ss.
- Górecka J., Dąbrowski Z.T. 2009. Effects of MON 810 maize variety on tritrophic relations: *Tetranychus urticae* (Koch) – *Phytoseiulus persimilis* (Athias-Henriot). p. 34. IOBC/WPRS Abstracts Talks. 4th EIGMO-Meeting. Rostock, 14–16 May 2009, 80 pp.
- Górecka J., Godzina M., Dąbrowski Z.T. 2008. Effect of Bt maize MON 810 expressing Cry 1 Ab toxin on *Aphidius colemani* in tritrophic plant – herbivore – parasitoid system. *J. Plant Protection Res.* 48 (1): 129–136.
- Grabowski M., Bereś P.K., Dąbrowski Z.T. 2010. Charakterystyka wybranych gatunków biegaczowatych (Coleoptera: Carabidae) pod kątem ich przydatności dla oceny ryzyka i monitoringu uwalniania GMO do środowiska. *Prog. Plant Protection/Post. Ochr. Roślin* 50 (4): 1602–1606.
- Hilbeck A., Jänsch S., Meier M., Römbke J. 2008. Analysis and validation of present ecotoxicological test methods and strategies for the risk assessment of genetically modified plants. Federal Agency for Nature Conservation, Bonn, 116 pp. & 4 Appendixes.
- James C. 2010. Executive summary. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2010. ISAAA Brief 42-2010, 20 pp.
- Jermý T., Szélényi G. 1958. Die zoöznose des Winterweizens. *Allatt. Közlem.* 46: 229–241.
- Knecht S., Romeis J., Malone L.A., Candolfi M.P., Garcia-Alonso M., Habustova O., Huesing J.E., Kiss J., Nentwig W., Pons X., Rauschen S., Szenasi A., Bigler F. 2010. A faunistic database as a tool for identification and selection of potential non-target arthropod species for regulatory risk assessment of GM maize. *IOBC/WPRS Bull.* 52: 65–69.
- Kucharczyk H., Bereś P.K., Dąbrowski Z.T. 2011. The species composition and seasonal dynamic of thrips (Thysanoptera) populations on maize (*Zea mays* L.) in southeastern Poland. *J. Plant Protection Res.* 51 (3): 210–216.
- Ramirez-Romero R., Desneux N., Chauvax J., Kaiser L. 2008. Bt-maize effects on biological parameters of the non-target aphid *Sitobion avenae* (Homoptera: Aphididae) and Cry 1 Ab toxin detection. *Pestic. Biochem. Physiol.* 91: 110–115.
- Romeis J., Hellmich R.L., Candolfi M.P., Carstens K., De Schrijver A., Gatehouse A.M.R., Heran R.A., Huesing J.E., McLean M.A., Raybould A., Shelton A.M., Waggoner A. 2011. Recommendations for the design of laboratory studies on non-target arthropods for risk assessment of genetically engineered plants. *Transgenic Res.* 20: 1–22.
- Schulte E. 2008. Special activity: Non-target risk assessment and regulation. Protocol of the discussion. *IOBC/WPRS Bull.* 33: 157–158.
- Tischler W. 1971. *Agroekologia*. PWRiL, Warszawa, 487 ss.
- Twardowski J.P., Bereś P.K., Hurej M., Klukowski Z. 2010. Ground beetles (Col., Carabidae) in Bt-maize – preliminary results from the first large scale field experiment in Poland. *IOBC/WPRS Bull.* 52: 97–102.

ZBIGNIEW T. DĄBROWSKI, MARCIN GRABOWSKI

BASIS OF INDICATORY SPECIES SELECTION IN THE RISK EVALUATION  
OF GENETICALLY MODIFIED PLANT EFFECT ON ENVIRONMENT

**SUMMARY**

Based on the actual discussions of the international expert committees (UE, EFSA, STEPKO), recent publications and opinions and recommendations expressed by the experts on environmental protection and the independent experts with a long experience, the integrated approach to ERA is presented. Special attention was given to selection of species and environmental functions used as indicators of potential unintended effect of GM plants on environment. Both approaches and methodologies of Hilbeck et al (2008) and EFSA (2010) are described. Relevance of results produced by the Polish primary projects (greenhouse and laboratory based and the field large experiment) on methods used in the environmental risk assessment (ERA), carried out in the Department of Applied Entomology SGGW in co-operation with other partners, was compared with the international recommendations.

**Key words:** GM, ERA, indicators, environment